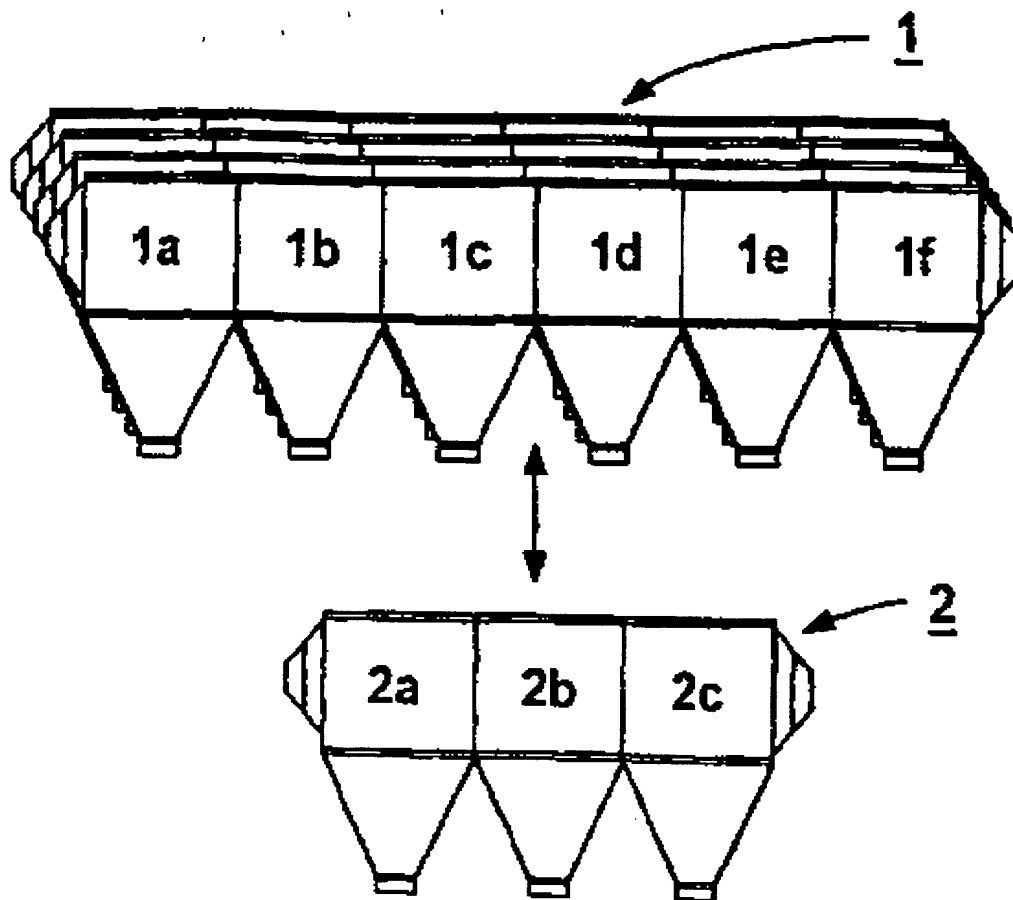


AN: PAT 2002-067842  
TI: Electrofilter operating method uses filter model divided into zones assigned characteristic values used for regulating energy feed for ensuring operation within particle emission limits  
PN: DE10050188-C1  
PD: 24.01.2002  
AB: NOVELTY - The operating method has the real electrofilter (1) transformed into a filter model (2) having at least one input zone (2a), at least one central zone (2b) and at least one end zone (2c), each of the zones assigned a given characteristic, used for regulation of the energy feed for the model zones in dependence on the required particle emission value.; USE - The method is used for operation of an electrofilter used for cleaning dust-laden gases in a process plant. ADVANTAGE - The method ensures that the electrofilter is operated within the safe particle emission limits. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a graphic representation of the transformation of an electrofilter into a filter model. Electrofilter 1 Filter model 2 Input zone 2a Central zone 2b Output zone 2c  
PA: (GRAS/) GRASS N; (SIEI ) SIEMENS AG;  
IN: GRASS N;  
FA: DE10050188-C1 24.01.2002; AU2002223474-B2 12.08.2004; WO200230574-A1 18.04.2002; AU200223474-A 22.04.2002; EP1324831-A1 09.07.2003; US2004098173-A1 20.05.2004;  
CO: AT; AU; BE; CH; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LI; LU; MC; NL; PT; SE; TR; US; WO;  
DN: AU; US;  
DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE; TR; LI;  
IC: B03C-003/68; G05D-003/12;  
MC: X25-H02A1;  
DC: P41; X25;  
FN: 2002067842.gif  
PR: DE1050188 09.10.2000;  
FP: 24.01.2002  
UP: 17.11.2004

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

02 P 00693



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 100 50 188 C 1

51 Int. Cl. 7: <sup>35</sup>  
B 03 C 3/68

21 Aktenzeichen: 100 50 188.5-23  
22 Anmeldetag: 9. 10. 2000  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 1. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

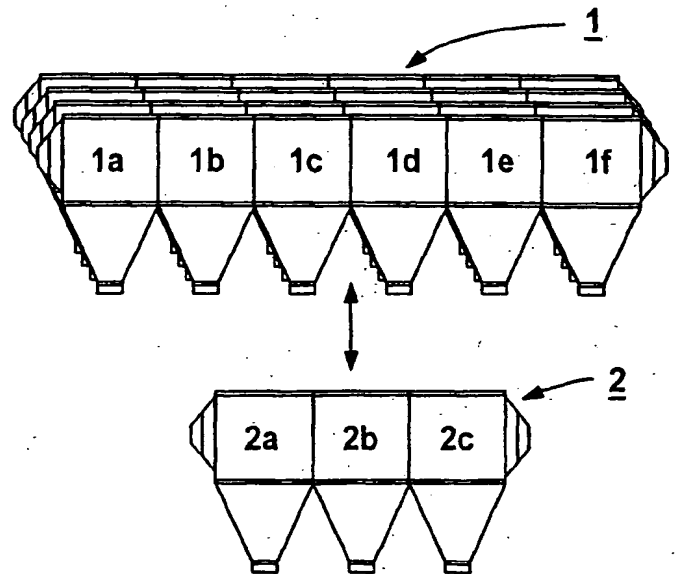
72 Erfinder:  
Grass, Norbert, 91074 Herzogenaurach, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 42 22 069 A1  
DE 41 40 228 A1

54 Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters

57 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters wird das reale Elektronikfilter (1) auf ein Filtermodell (2) transformiert, das wenigstens eine Eingangszone (2a), wenigstens eine Mittelzone (2b) und wenigstens eine Ausgangszone (2c) umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen (2a-2c) eine vorgebbare Charakteristik zugeordnet wird. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen (2a-2c) in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission (E) geregelt.



DE 100 50 188 C 1

DE 100 50 188 C 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters.

[0002] Elektrofilter finden in den vielfältigsten technischen Prozessen zur Entstaubung von Gasen Verwendung. Hierbei wird ein Paket von Abscheideelektroden im Gasstrom angeordnet. Zwischen diesen Abscheideelektroden werden vorzugsweise drahtförmige Sprühelektroden eingefügt, wobei zwischen den elektrisch jeweils parallel geschalteten Sprühelektroden einerseits und den Abscheideelektroden andererseits eine hohe Gleichspannung in der Größenordnung von etwa 50 KV angelegt wird. Hierdurch werden die Gasmoleküle ionisiert und geben sodann ihre Ladung an die im Gasstrom enthaltenen Staubpartikel ab, welche negativ aufgeladen werden und dadurch zu dem positiv geladenen Teil der Elektroden gezogen werden. Dort können sie durch Vibration oder durch Abstreifeinrichtungen gelöst werden und fallen sodann nach unten in eine Staubsammelvorrichtung.

[0003] Mit diesem Prinzip lassen sich die unterschiedlichsten Partikel aus den verschiedensten Gasströmen abscheiden, woraus allerdings je nach Einsatzfall stark schwankende Betriebsparameter für das Elektrofilter resultieren. Durch Feuerung unterschiedlicher Kohlesorten entstehen beispielsweise unterschiedliche Partikelmengen und Abgaseigenschaften in den Elektrofiltern. So wird z. B. zum Erreichen des geforderten Reingasstaubgehalts bei Kohlen mit niederohmigen Aschebestandteilen und hohen Aschegehalten erheblich höhere Energie im Elektrofilter benötigt als bei Kohlen mit geringem Ascheanteil.

[0004] Bei den bisher bekannten Elektrofiltern ist eine sichere Einhaltung der Grenzwerte für die Partikelemission nur bei voller Leistung der Hochspannungsversorgung sichergestellt, der zu einem entsprechend hohen Energieverbrauch führt.

[0005] Die bisher auch vorgenommene manuelle Einstellung der Geräte erfordert einen hohen Aufwand an geschultem Bedienpersonal. Auch eine an sich mögliche Überdimensionierung des Elektrofilters ist wegen der hiermit verbundenen nicht unbeträchtlichen Verteuerung des betreffenden industriellen Verfahrens nur begrenzt möglich. Die Feuerung nur bestimmter Kohlesorten führt dazu, dass Marktentwicklungen nicht voll ausgenutzt werden können.

[0006] In der DE 42 22 069 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters sowie ein Elektrofilter zur Durchführung des Verfahrens beschrieben. Im bekannten Fall wird außerhalb der aktiven Abscheidezone des Elektrofilters, also entfernt von dem diese Abscheidezone bildenden elektrischen Hochspannungsfeld, eine Soll-Funkenstrecke betrieben, die ein weiteres elektrisches Hochspannungsfeld aufbaut. Die Soll-Funkenstrecke wird in einem Bereich betrieben, der staubfrei ist, aber ansonsten allen wesentlichen Betriebsparametern des Medienstroms unterliegt. Dadurch sollen einerseits Glimmbrände innerhalb des Elektrofilters vermieden werden, andererseits soll dadurch die Betriebsspannung des Elektrofilters immer möglichst nahe der Überschlagsgrenze gehalten werden.

[0007] Weiterhin ist in der DE 41 40 228 A1 ein Verfahren zur Entstaubung von Rauchgasen beschrieben. Bei diesem Verfahren wird ein Vergleich einer Soll-Istwertdifferenz mit im Voraus experimentell ermittelten Prozessparametern durchgeführt. Die experimentelle Ermittlung der Prozessparameter erfolgt hierbei in einem hinsichtlich Entstaubungsgrad und Wirkungsgrad optimalen Prozess. Durch das bekannte Verfahren soll ein möglichst effizienter Betrieb der Elektrofilter im ökologischen wie auch im ökonomischen Sinne erreicht werden.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters zu schaffen, das auf einfache Weise eine sichere Einhaltung der Grenzwerte für die Partikelemission gewährleistet.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters wird das reale Elektrofilter auf ein Filtermodell transformiert, das wenigstens eine Eingangszone, wenigstens eine Mittelzone und wenigstens eine Ausgangszone umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen eine vorgebbare Charakteristik zugeordnet wird.

Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission geregelt.

[0011] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Spitzenwerte, wie sie häufig bei der Plattenklopfung auftreten, begrenzt, so dass die sichere Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte gewährleistet ist. Durch die Transformation des realen Elektrofilters auf ein Filtermodell, welches wenigstens eine Eingangszone, wenigstens eine Mittelzone und wenigstens eine Ausgangszone umfasst, ist das Verfahren nach Anspruch 1 auf beliebige Anordnungen von Elektrofiltern anwendbar. Jede der drei Modellzonen wird hierbei eine bestimmte Charakteristik zugeordnet. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission geregelt.

[0012] Durch die Modellbildung erhält man eine Vereinfachung der Algorithmen und eine Verkürzung der Optimierungsdauer für das betreffende Elektrofilter.

[0013] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen: [0014] Fig. 1 ein Diagramm der Partikelemission über den dem Elektrofilter zugeführten elektrischen Strom,

[0015] Fig. 2 eine graphische Darstellung der Transformation eines realen mehrstufigen Elektrofilters auf ein Filtermodell,

[0016] Fig. 3 ein Beispiel für eine Vernetzung von Hochspannungsgeräten eines Elektrofilters,

[0017] Fig. 4 eine Regelung der Partikelemission und der Filterströme,

[0018] Fig. 5 eine Bedienoberfläche bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0019] Fig. 1 zeigt in einem Diagramm den prinzipiellen Verlauf der Staubpartikelemission in Abhängigkeit von der Stromstärke, die einem Elektrofilter zugeführt wird. Durch Änderung im Produktionsprozess können sich die Abgaseigenschaften ändern, so dass sich die im Beispiel gezeigte Kurve quantitativ ändert.

[0020] In Fig. 2 ist mit 1 ein sechsstufiges reales Elektrofilter bezeichnet, das erfindungsgemäß auf ein Filtermodell 2 transformiert wird. Die Transformation ist in Fig. 2 durch einen Doppelpfeil symbolisiert. Das Filtermodell 2 umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Eingangszone 2a, eine Mittelzone 2b und eine Ausgangszone 2c.

[0021] Der Eingangszone 2a, der die Stufen 1a und 1b des realen Filters entsprechen, weist eine hohe, inhomogene Staubkonzentration im Abgas auf. Die Aufladung möglichst vieler Partikel wirkt sich günstig auf die Wirksamkeit der Mittelzone 2b und der Ausgangszone 2c aus.

[0022] In der Mittelzone 2b, die aus den Stufen 1c und 1d des realen Filters 1 gebildet wird, weist eine deutlich geringere Staubkonzentration (ca. 1/20) auf. In der mittleren Zone 2b kann in seltenen Fällen ein Rücksprühen auftreten. Unter Rücksprühen versteht man das Ende des linearen

Spannungsanstiegs trotz Erhöhung der Stromstärke.

[0023] In der Ausgangszone 2c, die aus den Stufen 1e und 1f des realen Filters 1 gebildet wird, ist ein hoher Anteil an feinen Staubpartikeln vorhanden. Aufgrund des hochhohmigen Staubbelaags an den Platten tritt häufiger ein Rücksprühen auf. Der Emissionswert reagiert sensibel auf Plattenklopfung.

[0024] Nach Modifikationen im Betrieb, z. B. durch Änderung der Stromzufuhr, in einer Zone müssen alle nachfolgenden Zonen neu adaptiert werden.

[0025] Für die Transformation des realen Elektrofilters auf ein Filtermodell wird zumindest einer der folgenden Parameter berücksichtigt:

Istwert und Sollwert des Filterstromes,

Istwerte, Minimalwerte, Maximalwerte und Mittelwerte der Filterspannung,

elektrische Leistung,

Betriebsart (kontinuierlicher Betrieb oder Pulsbetrieb) und/oder

falls Pulsbetrieb aktiv – wenigstens ein Pulsmuster.

[0026] Im Gasstrom parallele Modellzonen werden zunächst mit identischen Sollwerten versorgt. Bei der Feinoptimierung werden die Gewichtungsfaktoren für die parallelen Modellzonen bestimmt. Bei seriellen Modellzonen wird eine lineare Interpolation der Parameter, insbesondere der Istwerte, verwendet. Auch hier sind unterschiedliche Gewichtungen der einzelnen Modellzonen denkbar.

[0027] Die Wahl der Betriebsart bei der Rücktransformation vom Filtermodell 2 in das reale Filter 1 hängt von der errechneten Stärke des Rücksprühens in den korrespondierenden Modellzonen ab.

[0028] Im aktuellen Betriebspunkt des realen Elektrofilters 1 werden für die drei Modellzonen 2a, 2b und 2c die Gradienten der Emission (oder der Opazität) über der elektrischen Teil-Leistung gebildet. Dazu muss die elektrische Leistung in allen Zonen nacheinander um den aktuellen Betriebspunkt geringfügig variiert werden. Die Gradienten der drei Modellzonen sind ein Maß für den Einfluss einer Modellzone bei Änderung der elektrischen Leistung auf die Partikelemission. Nun werden die Leistungssollwerte der Modellzonen 2a, 2b und 2c so optimiert, dass alle drei Gradienten gleich groß sind und der gewünschte Emissionswert genau erreicht wird. In diesem Betriebspunkt wird das Elektrofilter mit der minimalen möglichen Leistung betrieben, bei der der vorgeschriebene oder gewünschte Emissionswert gerade erreicht wird.

[0029] Zur gezielten Suche des optimalen Betriebspunktes hat sich der Einsatz von Fuzzy-Logik bewährt. Der Einsatz von anderen Methoden, wie z. B. neuronale Netze oder konventionelle Suchalgorithmen, sind hier ebenfalls möglich. Aufgrund der schnellen Realisierbarkeit und der verwendeten abstrakten Regeln sowie der daraus gewonnenen Übertragbarkeit auf andere reale Elektrofilter ist der Fuzzy-Logik der Vorzug zu geben.

[0030] Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Fuzzy-Logik ist die einfache Realisierbarkeit unsymmetrischer Regler durch Änderung der Zugehörigkeitsfunktionen eines Signals. Ein Anstieg der Emissionen erfordert eine schnelle starke Reaktion des Systems wegen der Gefahr von Grenzwertüberschreitungen, wohingegen bei Verringerung der elektrischen Leistung erheblich mehr Zeit zur Verfügung steht. Durch die Verwendung von Fuzzy-Logik wird also die Betriebssicherheit erhöht.

[0031] Als Istwerte werden außer dem Mittelwert der Partikelemission auch die Spitzenwerte und die Augenblickswerte verwendet. Die Betrachtung der aktuellen Werte ermöglicht eine schnelle Reaktion auf ansteigende Werte aufgrund von unvorhersehbaren Prozessänderungen (z. B. Ruß-

blasen). Die Überwachung der Maxima verhindert unerwünschte bzw. unerlaubte Emissionsspitzenwerte auch bei periodischen bzw. wiederkehrenden Vorgängen (z. B. Plattenklopfung).

[0032] Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Hochspannungsversorgungen des Elektrofilters vernetzt, wobei ein optischer Profibus 5 als Übertragungssystem gewählt wurde. Über den optischen Profibus 5 sind damit die Hochspannungsversorgung 3 sowie die Hochspannungsversorgungen 41, 42, 43, 44 und 45 über ihre Kontrolleinrichtungen 3K sowie 41K, 42K, 43K, 44K und 45K miteinander verbunden. Das Energiemanagement läuft auf einem Personalcomputer 6, der im dargestellten Ausführungsbeispiel unter dem Betriebssystem Windows NT betrieben wird. Im Rahmen der Erfindung ist auch der Einsatz auf einem Automatisierungssystem, z. B. Simatic S7 möglich.

[0033] Die einzelnen Hochspannungsversorgungen enthalten einen Satz von Parametern, der bei Verlust der Datenkommunikation aktiviert wird. Hier kann z. B. Betrieb mit Nennstrom hinterlegt werden. Bei Überschreitung der Emissionswerte um einen vorgebbaren Wert, wird bei allen Hochspannungsversorgungen eine Stromerhöhung bewirkt, unabhängig von der laufenden Optimierung. In einer zweiten Stufe kann bei einer weiter ansteigenden Partikelemission bei allen Hochspannungsversorgungen der Nennstrom aktiviert werden.

[0034] Fig. 4 zeigt die konstant bleibende Partikelemission E sowie die Regelung der Filterströme  $I(Z1)$  bis  $I(Z5)$  in den Zonen Z1 bis Z5 auf kleinere Werte während Abfahren des Kessels. Mit  $U(Z1)$  ist der Spannungsverlauf in der Zone Z1 gekennzeichnet. Die Zeitpunkte der Gradientenbestimmung sind an den kurzen Stromänderungen in beide Richtungen zu erkennen.

[0035] In Fig. 5 ist die benutzerfreundliche Bedienoberfläche der auf dem Personalcomputer 6 eingesetzten Software zu erkennen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters, bei dem das reale Elektrofilter (1) auf ein Filtermodell (2) transformiert wird, das wenigstens eine Eingangszone (2a), wenigstens eine Mittelzone (2b) und wenigstens eine Ausgangszone (2c) umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen (2a–2c) eine vorgebbare Charakteristik zugeordnet wird, nach der die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen (2a–2c) in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission (E) geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für die Transformation des realen Elektrofilters (1) auf ein Filtermodell (2) zumindest einer der folgenden Parameter berücksichtigt wird:  
Istwerte und Sollwerte der Filterströme,  
Istwerte, Minimalwerte, Maximalwerte und Mittelwerte der Filterspannung,  
elektrische Leistung,  
Betriebsart (kontinuierlicher Betrieb oder Pulsbetrieb) und – falls der Elektrofilter im Pulsbetrieb betrieben wird – wenigstens ein Pulsmuster.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei im Abgasstrom parallele Zonen zunächst mit identischen Sollwerten versorgt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei durch eine Feinoptimierung für im Abgasstrom parallele Modellzonen Gewichtungsfaktoren bestimmt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei

für serielle Zonen eine lineare Interpolation der Parameter, insbesondere der Istwerte, verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für die im Abgasstrom seriellen Modellzonen durch eine Feinoptimierung Gewichtungsfaktoren bestimmt werden.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der optimale Betriebspunkt des realen Elektrofilters unter Verwendung einer Fuzzy-Logik ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der optimale Betriebspunkt des realen Elektrofilters unter Verwendung eines neuronalen Netzes ermittelt wird.

10

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der optimale Betriebspunkt des realen Elektrofilters unter Verwendung konventioneller Suchalgorithmen ermittelt wird.

15

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



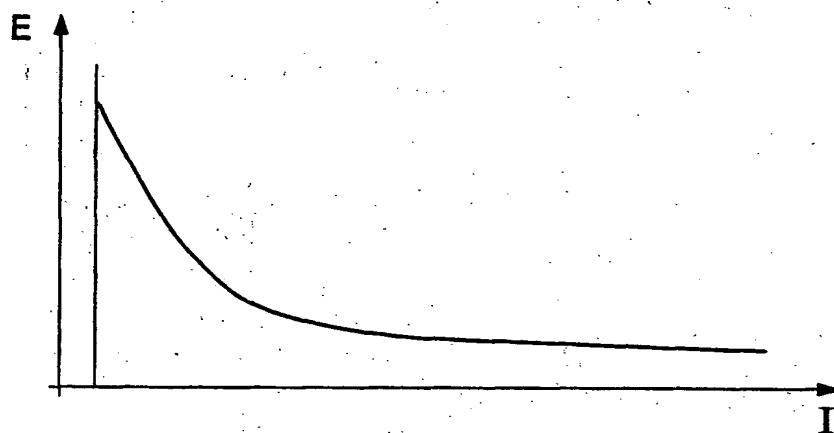


FIG 1

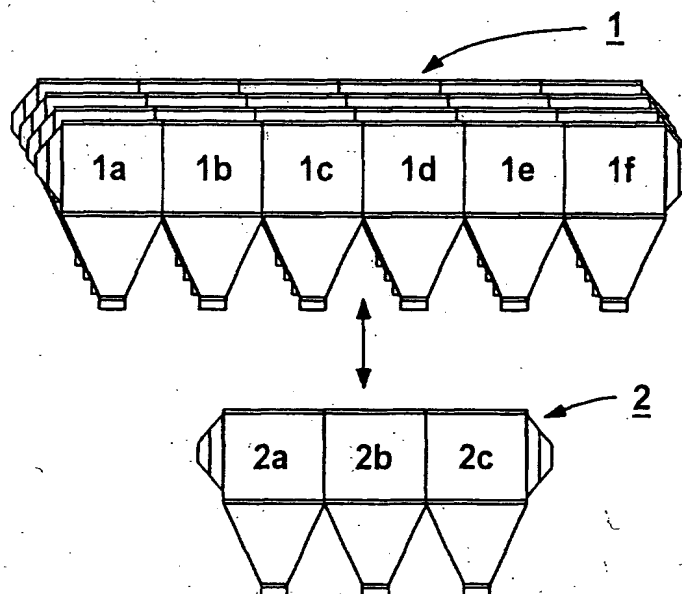


FIG 2

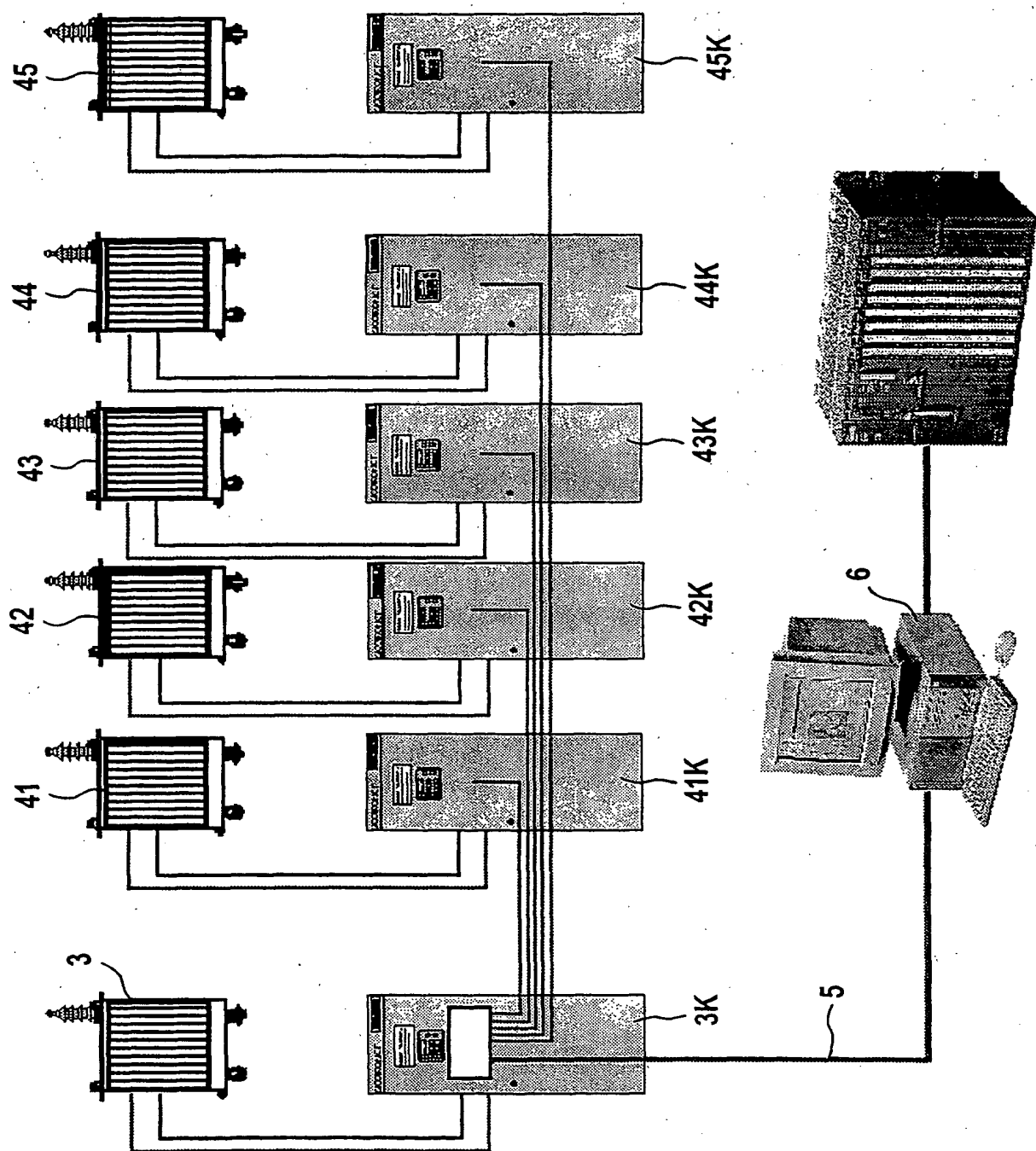


FIG 3

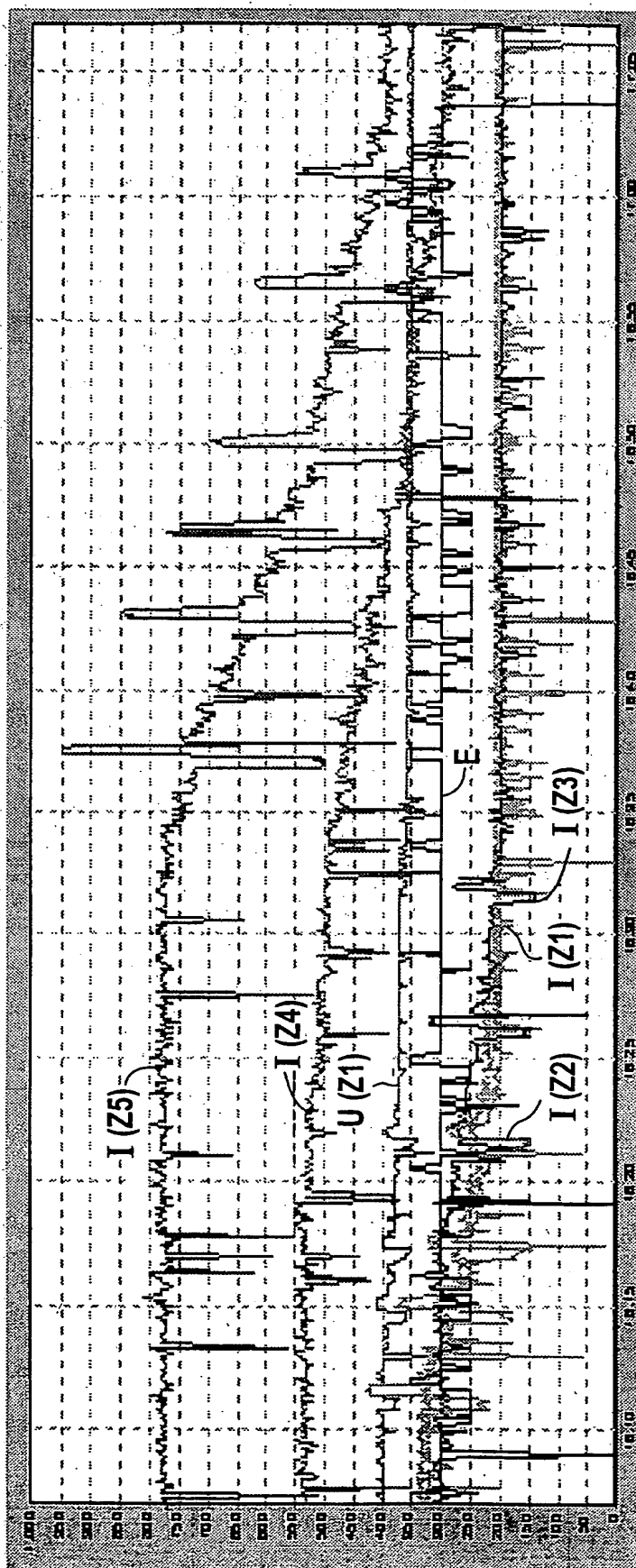


FIG 4

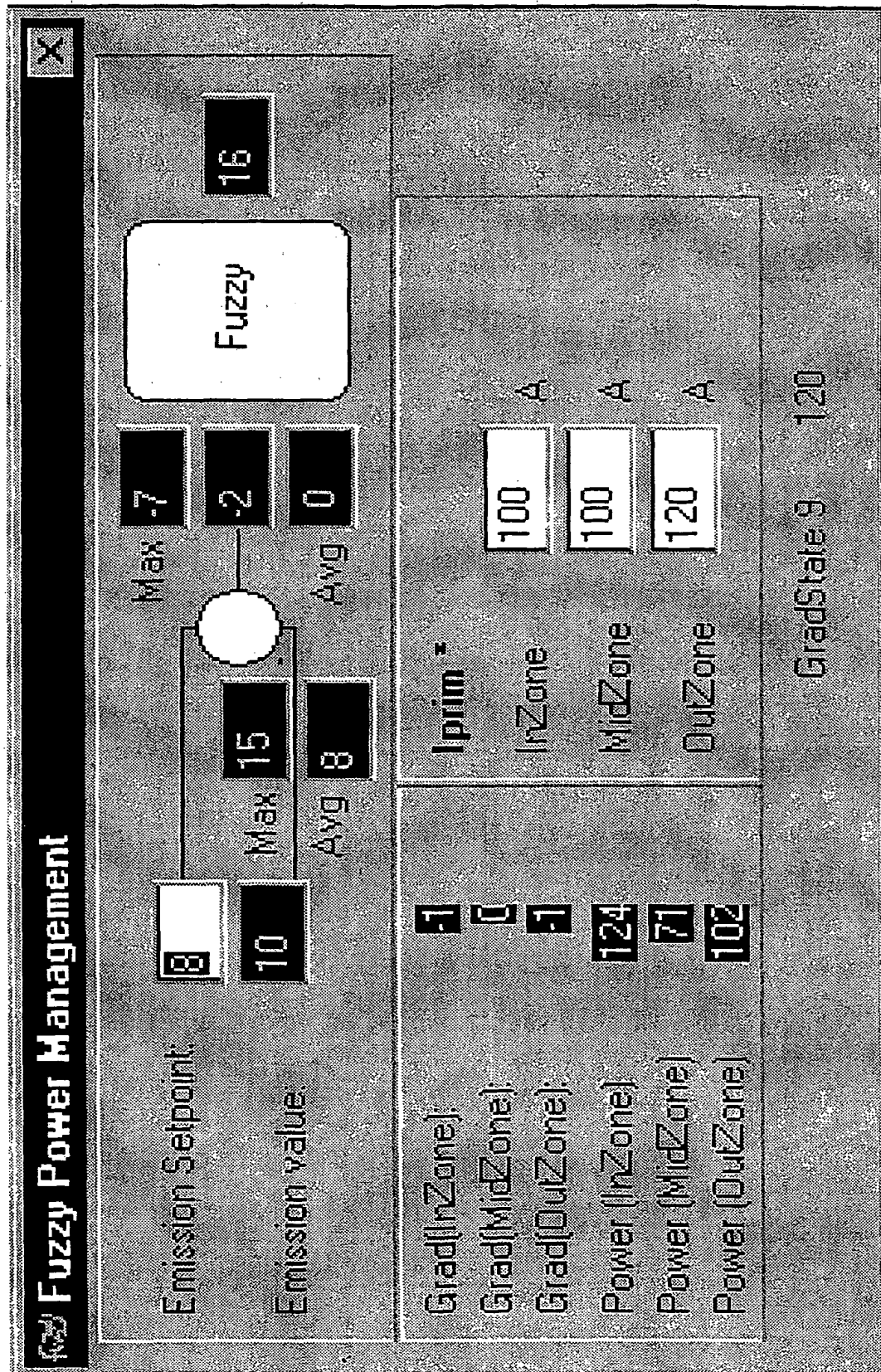


FIG 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☒ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**